

Versuche zur Problematik des offenen Toilettensystems
in Schnellzügen

Peter von Seck

1972

Aus dem Hygiene-Institut der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Professor Dr.med. J. Borneff)

Versuche zur Problematik des offenen Toilettensystems
in Schnellzügen

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität zu Mainz

vorgelegt von

Peter von Seck
aus Sorau/Lausitz

Mainz 1972



Dekan: Professor Dr. med. A. Mayet

Referent: Professor Dr. med. J. Borneff

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Juli 1972

A Einleitung

Es soll untersucht werden, ob die derzeitige Fäkalienbeseitigung im Bahnreiseverkehr vom hygienischen Standpunkt noch vertretbar ist. Der Verunreinigung der Gleisanlagen auf den Bahnhöfen wird mit einigem Erfolg entgegengewirkt, indem Schilder das Benutzen der Toilettenanlagen des haltenden Zuges verbieten. Auf Betreiben der Deutschen Bundesbahn sind auf freier Strecke Untersuchungen durchgeführt worden, wie lange Enterobakterien der Fäkalreste infektiös auf dem Bahnkörper bleiben. Die Überlebenschancen waren so gering, daß eine Gefährdung des Streckenpersonals ausgeschlossen werden konnte. Hierbei besteht Übereinstimmung mit der von BRINGMANN und TROLLDENTER (3) gefundenen großen Anfälligkeit von *Escherichia coli* gegen die natürliche UV Strahlung und gegen Austrocknung.

Selbst bei Eindringen des Abwassers in den Streckenunterbau ist nicht mit einer Anreicherung von Abwasserbakterien zu rechnen. So konnte von POPP (27) im Boden von über 12 Jahren mit Abwasser beregneten Feldern kein Anhalt für eine Anreicherung mit Salmonellen gefunden werden. Die Überlebenszeiten von *Coli* und Salmonellen in verschiedenen Böden bewegen sich in der Größenordnung von Wochen - Monaten.

Neben diesen Erkenntnissen ist wohl der große Verteilungseffekt bei der Entleerung von fäkalem Abwasser aus fahrenden Zügen die Hauptstütze der Unbedenklichkeit.

Die folgenden Untersuchungen sollen einen weiteren möglichen Verbleib der während der Fahrt entleerten Fäkalien abklären.

Durch den Toilettenschacht der Reisewagen werden neben geformten Stuhl durchfällige Stühle, Urin und durch die Wasserspülung teilweise aufgeschwemmte Stühle entleert. Es kann für einen Teil der entleerten Fäkalien eine wässrige Bakterienaufschwemmung angenommen werden. Die hohe Geschwindigkeit im modernen Bahnreiseverkehr führt, so wird vermutet, zu einer feinen Versprühung der flüssigen Bestandteile, ähnlich wie das mit dem Wasser einer Pflütze passiert, das von einem Kraftfahrzeug mit ungefähr 120 km/h durchfahren wird. Trifft der Vorgang der Versprühung in kleine Tropfen bei der Bahn zu, so kann vermutet werden, daß sich das entstandene Aerosol in den Wirbeln des Fahrtwindes ähnlich verhält, wie Pulverschnee in einer von einem Schnellzug durchfahrenen Winterlandschaft. Der Pulverschnee wird dabei derart aufgewirbelt, daß er für den Beobachter an der Fahrstrecke den Schnellzug sichtbar wie einen Schleier umgibt. Wenn sich das angenommene Fäkalien-aerosol ebenso verhält, könnte es an der Außenhaut der nachfolgenden Wagen heraufgetragen werden, sie benetzen und über offene Wagenfenster mit der Zugluft in das Innere der Reisewagen gelangen. Es wird versucht, diese Hypothese zu belegen.

B Methodik

a) Prinzip der Versuche

Nachdem Vorversuche mit Fluoresceinnatrium-Lösung scheitern, wird die Fäkalienaufschwemmung mit einer hergestellten Coliaufschwemmung imitiert. Sollte tatsächlich bei der Entleerung von Fäkalienaufschwemmungen durch die Toilettenschächte von fahrenden Schnellzügen ein Aerosol entstehen, und dieses an der Außenhaut der folgenden Bahnwagen heraufgetragen werden, sie benetzen und über offene Fenster ins Wageninnere gelangen, müßte die Coliaufschwemmung sich

analog verhalten. Das Benutzen einer Schnellzugtoilette wird demzufolge durch das Schütten einer Coliaufschwemmung simuliert.

An 3 Wagenpositionen der nachfolgenden Schnellzugwagen wird die Außenzugluft, unmittelbar außerhalb der Gangfenster, und die Innenzugluft unmittelbar innerhalb der offenen Gangfenster auf Gehalt des vermuteten Aerosols untersucht. Als Indikator wird eine mit Endoagar beschichtete Petrischale benutzt. Wagenpositionen, die signifikant größere Kolonienzahlen auf der Petrischale als Impaktor erbringen, sind bewiesenermaßen einer Verunreinigung mit Fäkalpartikeln ausgesetzt.

Die äußeren Bedingungen, natürliche UV Strahlung und relative Luftfeuchtigkeit, können keine wesentliche Absterberate der verwendeten Colibakterien in einer Zeitspanne von Bruchteilen bis wenigen Sekunden vom Schütten bis zum Auffangen bewirken, wie den Versuchen von BRINGMANN und TROLLDENIER (3) über die Reichweite der Coliübertragung bei Abwasserverregnung entnommen werden kann.

Die Autoren hatten in Windrichtung vom Verregner weg auf Petrischalen Colikolonienzahlen ermittelt. Gleichgroße Kolonienzahlen fanden sie bei einer Windgeschwindigkeit von 7 m/sec unter für Colibakterien günstigen Bedingungen (natürliche UV Strahlung 0 m W/cm^2 , rel. Feuchte 100%) in 280 m Abstand, unter ungünstigen Bedingungen (natürliche UV Strahlung $1,00 \text{ m W/cm}^2$, rel. Feuchte 40%) in 150 m Abstand vom Verregner. Deutlich unterschiedlich sind die Abstände bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/sec, weil das Keim-aerosol länger dem Abtötungseffekt der Luft ausgesetzt ist.

Bei den eigenen Versuchen sind die Colikeime um Faktor 5 - 50 kürzer den Widrigkeiten der Luft exponiert, und da die späten Abendstunden als Versuchszeit gewählt sind, fehlt zudem der Abtötungseffekt durch die natürliche UV Strahlung. Weitere Untersuchungen über das Überleben von *Escherichia coli* im Aerosol in Abhängigkeit von relativer Luftfeuchtigkeit und UV Strahlung sind der Arbeit zugrundegelegt, COX (6), (7), (8) und HELMKE (14).

Zur Absicherung der Methode werden Colikeimzahlbestimmungen mit der Petrischale als Impaktor in der Gegend der Eisenbahnstrecke durchgeführt, wo die Schüttversuche stattfanden. Endoplatten werden dem Fahrtwind bei 120km/h im Autobahn- und Landstraßenverkehr, aber auch der Außenzugluft unmittelbar hinter der Schnellzuglokomotive ausgesetzt. Die gewählte Methode kann nur geeignet sein, wenn die Kolonienzahlen bei diesen zusätzlichen Versuchen um ein Vielfaches geringer sind.

b) 1. Anordnung der Schüttversuche (siehe auch Abb. 1 und Abb. 2). Versuchsobjekt waren die ersten 6 Wagen eines Schnellzuges, Wagen 4 oder 5 war bei den Fahrten ein Gepäckwagen. Die *Escherichia coli*-Aufschwemmung wurde aus der 2. Toilette des 1. Wagens, immer von der vorn fahrenden Lok aus gesehen, entleert. Bei den Schüttversuchen wurde je 1 Liter Coliaufschwemmung in etwa 3 Sekunden durch den Toilettenschacht entleert. An drei Positionen des folgenden Zugteils wurden Endoagarplatten der Zugluft senkrecht zur Luftströmung exponiert. Bei den Außenzugluftversuchen wurden die Platten etwa 30 cm aus dem Gangfenster, bei den Innenzugversuchen in die maximale Zugluft innerhalb des Wagens am offenen Gangfenster gehalten.

Position 1 war Ende 2. Wagen, Position 2 war Ende 3. Wagen,
Position 3 war Ende 6. Wagen.

Um die Möglichkeit einer Beeinflussung der Meßwerte durch Stuhle-
entleerungen von Mitreisenden klein zu halten, wurden die Toi-
letten von Wagen 1 - 3 zur Versuchszeit besetzt gehalten. Vor
Position 3 blieben 3 Toiletten frei benutzbar. Es wurde jedoch
darauf geachtet, daß die Benutzung zur Versuchszeit unterblieb.
Zur Synchronisation sämtlicher Aktionen (Schütten, Exposition
der Platten) dienten Stoppuhren und ein Arbeitsplan für jede
Position. Bei Position 1 und 3 wurden je 8 Endoplatten synchron
dem Schütten exponiert, und zwar je 4 dem Außenzug und je 4 dem
Innenzug. Bei Position 2 wurden 12 Endoplatten, 6 außen und 6
innen exponiert. Die Expositionszeit betrug 10 Sekunden. Inter-
mittierend zu den Schüttversuchen wurden Kontrollen durchgeführt;
hierbei wurden die Endoplatten dreimal länger, nämlich 30 Sekunden,
exponiert. Die längere Expositionszeit für die Kontrollen wurde ge-
wählt, da orientierende Vorversuche in der Innenzugluft bei 16
von 20 Endoplatten keine coliformen Kolonien erbrachten.

b) 2. Anordnung der zusätzlichen Versuche

I.) 8 Endoagarplatten wurden jeweils 1 Minute bei einer Geschwin-
digkeit von 100 - 120 km/h aus dem Fenster eines Kraftfahrzeuges
gehalten und der Zugluft exponiert. Zu diesen Fahrten wurden die
gleiche Tageszeit, die gleichen Witterungsbedingungen und die Ge-
gend der Eisenbahnversuchsstrecke gewählt (Landstraßen und
Autobahn).

II.) 6 Endoagarplatten wurden jeweils 1 Minute während der Fahrten der Schüttversuche der Außenzugluft am 1. Bahnwagenfenster hinter der Lok exponiert.

c.) Äußere Bedingungen

Für alle Versuche waren die gleichen Witterungsverhältnisse ausgesucht. Es herrschte eine ruhige Spätsommerwetterlage im Monat September, Außentemperatur ungefähr 15°C , nahezu Windstille, es fiel zur Zeit der Versuche und in den Stunden davor kein Regen, Strecke und Reisezug waren also trocken. Es wurde regelmäßig der gleiche Abendschnellzug, der Holland-Wien Express, auf der Strecke zwischen Wiesbaden und Frankfurt benutzt. Die dieser Arbeit zugrundegelegten Werte sind bei 3 Versuchsfahrten erzielt worden. Die Reisegeschwindigkeit während der Versuche betrug nach Angaben des Lokführers 120 - 140 km/h.

d.) Keime, Nährboden und Bebrütung

Die Fäkalentleerung wird durch das Schütten einer wässrigen Aufschwemmung von *Escherichia coli* mit einer ungefähren Keimdicke von 10^6 Keimen/ml in Portionen von je 1000 ml imitiert. Die Coliaufschwemmung wird wie folgt hergestellt: 1000 ml 5% iger steriler Laevuloselösung werden mit 20 ml einer auf ungefähr 10^6 Keime/ml eingestellten Coliaufschwemmung beimpft. Als Nährlösung werden 40 ml 40% ige Glucose zugegeben. Zur Keimvermehrung wird 36 Stunden bei 35°C bebrütet. Es wird eine Coliaufschwemmung von ungefähr 10^6 Keimen/ml erzielt.

Zum Nachweis wird Endoagar als Selektivnährboden für coliforme Bakterien in Petrischalen verwendet.

Nach der Exposition werden sämtliche Endoplatten, gleichermaßen

die der Schlüttversuche und die der zusätzlichen Versuche, 14 Stunden bei 35°C bebrütet und die charakteristischen Kolonien coliformer Bakterien ausgezählt. Es werden Stichproben mit Hilfe der "Bunten Reihe" durchgeführt. Bei hohen Kolonienzahlen auf den Endoplaten wurden wegen der gleichmäßigen Verteilung der Kolonien nur Bruchteile der Petrischalenfläche ausgezählt und mit dem Nenner anschließend multipliziert. Der Anteil der Kolonien nicht coliformer Bakterien betrug bei den Schlüttversuchen nicht über 1 % und bei den Kontrollen nicht über 20 %. Bei den zusätzlichen Versuchen mit dem Auto fand sich eine erhebliche Verunreinigung der Endoplaten mit von vorausfahrenden Fahrzeugen aufgewirbeltem Straßenstaub und sogar kleinen Insekten und entsprechend eine Kolonienzahl nicht coliformer Bakterien von 10 - 100. Bei den zusätzlichen Versuchen am 1. Wagenfenster hinter der Lok fand sich eine Kolonienzahl nicht coliformer Bakterien von 0 - 2.

e.) Statistische Verfahren

1.) Pro Versuch wird der Mittelwert und Standardfehler des Mittelwertes nach folgender Formel berechnet

$$\text{Mittelwert } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$x_i = i - \text{te Meßwert}$$

$$n = \text{Anzahl der Meßwerte}$$

$$\text{Standardabweichung } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Standardfehler des Mittelwertes $S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$

2.) Zur Prüfung, ob zwischen Wagenpositionen mehr als zufällige Unterschiede bestehen, wird der Friedman -Test durchgeführt. Für diesen Test wird innerhalb eines Schüttversuches über die Wagenposition rangiert und pro Wagenposition die Rangsumme berechnet. Der Prüfwert ist

$$V = \frac{6 \sum (R_i - E)^2}{\sum R_i}$$
$$E = \frac{m(k+1)}{2}$$

R_i = Summe der Rangzahlen der i-ten Position

m = Versuche

k = Wagenpositionen

3.) Zur Prüfung, ob zwischen den einzelnen Schüttversuchen und den Kontrollen Unterschiede auffallen, wird der H-Test von Kruskal und Wallis angewendet. Für diesen Test werden den Originalmeßwerten in aufsteigender Größe die Rangzahlen von 1 bis n zugeordnet. Pro Gruppe wird die Summe $\hat{H}$ berechnet nach der Formel

$$\hat{H} = \left(\frac{12}{n(n+1)} \right) \left(\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1)$$

R_i = Summe der Rangzahlen des i-ten Schüttversuches

k = Anzahl der Versuche

n = Anzahl der Meßwerte über alle Versuche

Tabelle 1

Anordnung für den Friedman - Test

Außenzugluftversuche :

	Kolonienzahl	Rang	Kolonienzahl	Rang	Kolonienzahl	Rang
	Wagenpos. 1		Wagenpos. 2		Wagenpos. 3	
Schüttversuch 1	9000	3	5280	2	2560	1
Schüttversuch 2	2800	1	3180	2	3210	3
Schüttversuch 3	5120	2	8320	3	1690	1
Schüttversuch 4	5376	3	1920	1	2630	2
		<u>9</u>		<u>8</u>		<u>7</u>

Erwartungswert E = 8

Berechneter Prüfwert V = 0,5

	Kolonienzahl	Rang	Kolonienzahl	Rang	Kolonienzahl	Rang
	Wagenpos. 1		Wagenpos. 2		Wagenpos. 3	
Kontrolle 1	134	2	280	3	47	1
Kontrolle 2	210	3	45	1	176	2
Kontrolle 3	32	2	195	3	45	1
Kontrolle 4	88	2	54	1	276	3
		<u>9</u>		<u>8</u>		<u>7</u>

Erwartungswert E = 8

Berechneter Prüfwert V = 0,5

Innenzugluftversuche :

	Kolonienzahl	Rang	Kolonienzahl	Rang	Kolonienzahl	Rang
	Wagenpos. 1		Wagenpos. 2		Wagenpos. 3	
Schüttversuch 1	58	1	324	3	320	2
Schüttversuch 2	89	3	13	1	64	2
Schüttversuch 3	197	2	128	1	480	3
Schüttversuch 4	156	3	14	1	104	2
		<u>9</u>		<u>6</u>		<u>9</u>

Erwartungswert E = 8

Berechneter Prüfwert V = 1,5

	Kolonienzahl	Rang	Kolonienzahl	Rang	Kolonienzahl	Rang
	Wagenpos. 1		Wagenpos. 2		Wagenpos. 3	
Kontrolle 1	0	1	14	3	6	2
Kontrolle 2	14	3	1	1	12	2
Kontrolle 3	2	1	4	2	9	3
Kontrolle 4	0	1	1	2	8	3
		<u>6</u>		<u>8</u>		<u>10</u>

Erwartungswert E = 8

Berechneter Prüfwert V = 4

Tabelle 2 Anordnung für den Kruskal - und Wallis - Test

Schüttversuche Außenzugluft :

Versuch 1 Kolonienzahl	Rang	Versuch 2 Kolonienzahl	Rang	Versuch 3 Kolonienzahl	Rang	Versuch 4 Kolonienzahl	Rang
9000	12	2800	5	5120	8	5376	10
5280	9	3180	6	8320	11	1920	2
2560	4	3210	7	1690	1	2630	3
<u>25</u>		<u>18</u>		<u>20</u>		<u>15</u>	

Berechnete Prüfgröße $\hat{H} = 1,35$

Kontrolle 1 Kolonienzahl	Rang	Kontrolle 2 Kolonienzahl	Rang	Kontrolle 3 Kolonienzahl	Rang	Kontrolle 4 Kolonienzahl	Rang
134	7	210	10	32	1	88	6
280	12	45	2,5	195	9	54	5
47	4	176	8	45	2,5	276	11
<u>23</u>		<u>20,5</u>		<u>12,5</u>		<u>22</u>	

Berechnete Prüfgröße $\hat{H} = 1,76$

Schüttversuche Innenzugluft :

Versuch 1 Kolonienzahl	Rang	Versuch 2 Kolonienzahl	Rang	Versuch 3 Kolonienzahl	Rang	Versuch 4 Kolonienzahl	Rang
58	3	89	5	197	9	156	8
324	11	13	1	128	6	14	2
320	10	64	4	480	12	114	7
<u>24</u>		<u>10</u>		<u>27</u>		<u>17</u>	

Berechnete Prüfgröße $\hat{H} = 4,44$

Kontrolle 1 Kolonienzahl	Rang	Kontrolle 2 Kolonienzahl	Rang	Kontrolle 3 Kolonienzahl	Rang	Kontrolle 4 Kolonienzahl	Rang
0	1,5	14	11,5	2	5	0	1,5
14	11,5	1	3,5	4	6	1	3,5
6	7	12	10	9	9	8	8
<u>20</u>		<u>25</u>		<u>20</u>		<u>13</u>	

Berechnete Prüfgröße $\hat{H} = 1,87$

Abb. 1

Außenzugluftversuche

Darstellung der Schüttversuche und ihrer Ergebnisse

	Toilette, durch die Coli-Auf- schwemmung geschüttet wurde	Wagen- pos. 1 Kolo- nienzahl	Wagen- pos. 2 Kolo- nienzahl	Wagen- pos. 3 Kolo- nienzahl
Schüttversuch 1		9000(134)	5280(280)	2560(47)
Schüttversuch 2		2800(210)	3180(45)	3210(176)
Schüttversuch 3		5120(32)	8320(195)	1690(45)
Schüttversuch 4		5376(88)	1920(54)	2630(276)
Schüttversuch 5			1900(144)	
Schüttversuch 6			4260(45)	

Die Zahlenkolonnen unter den Wagenpositionen 1, 2 und 3 sind die ermittelten Kolonienzahlen, in Klammern die Kolonienzahlen der Kontrollen.

Abb. 2

Innenzugluftversuche

Darstellung der Schüttversuche und ihrer Ergebnisse

	Toilette, durch die Coli-Auf- schwemmung geschüttet wurde	Wagen- pos. 1 Kolo- nienzahl	Wagen- pos. 2 Kolo- nienzahl	Wagen- pos. 3 Kolo- nienzahl
				
Schüttversuch 1		58(o)	324 (14)	320 (6)
Schüttversuch 2		89(14)	13 (1)	64 (12)
Schüttversuch 3		197(2)	128 (4)	480 (9)
Schüttversuch 4		156(o)	14 (1)	104 (8)
Schüttversuch 5			101 (6)	
Schüttversuch 6			54 (12)	

Die Zahlenkolonnen unter den Wagenpositionen 1, 2 und 3 sind die ermittelten Kolonienzahlen, in Klammern die Kolonienzahlen der Kontrollen.

Abb. 3

Außenzugluftversuche

Mittelwert und Standardfehler des Mittelwertes der Kolonienzahl pro Endoplatte,

linke Säule : Schüttversuche

rechte Säule: Kontrollen

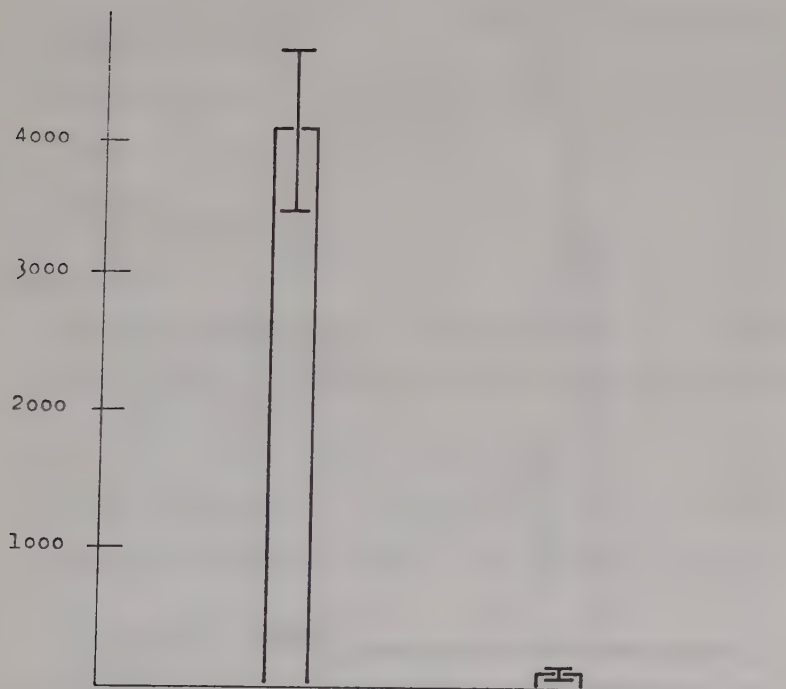


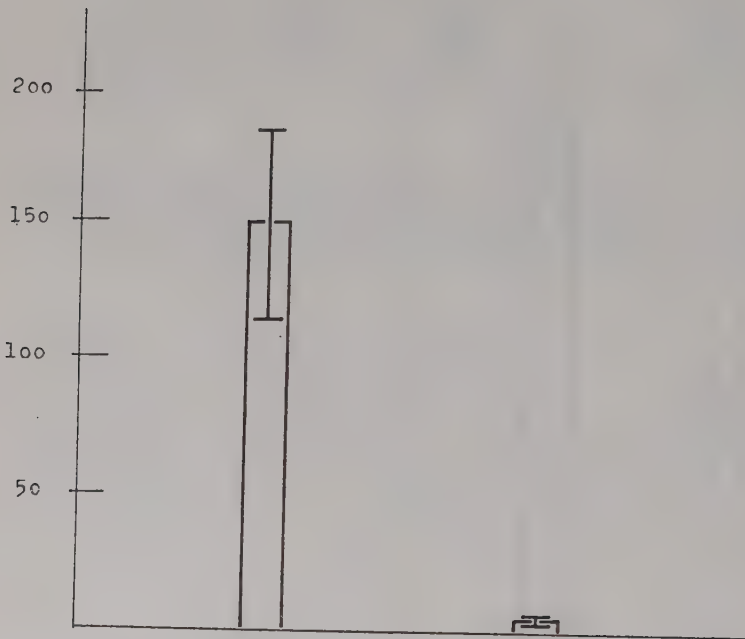
Abb. 4

Innenzugluftversuche

Mittelwert und Standardfehler des Mittelwertes der Kolonienzahl pro Endoplatte,

linke Säule : Schüttversuche

rechte Säule: Kontrollen



f) Statistische Beurteilung

Übersteigt der berechnete Prüfwert den für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% tabellierten Grenzwert, so gilt der Unterschied zwischen den Gruppen als statistisch signifikant.

Ist die Prüfgröße kleiner als der Grenzwert für 1%, aber gleich oder größer dem von 5%, so gilt der Unterschied zwischen den Gruppen als statistisch auffällig.

Ist der berechnete Prüfwert kleiner als der für 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit tabellierte Grenzwert, so gelten die beobachteten Unterschiede als zufallsbedingt und sachlich nicht vorhanden,

C Ergebnisse

a) Ergebnisse der zusätzlichen Versuche

Kolonienzahl coliformer Bakterien der 8 Endoplaten, die aus dem offenen Kraftfahrzeugfenster 1 Minute lang bei Tempo 100 - 120 km/h gehalten wurden: 4 mal 0 Kolonien je Platte, 2 mal 2 Kolonien je Platte, 2 mal 3 Kolonien je Platte.

Kolonienzahl coliformer Bakterien der 6 Endoplaten, die 1 Minute lang der Außenzugluft am 1. Wagenfenster hinter der Lok exponiert wurden: 4 mal 0 Kolonien je Platte, 1 mal 1 Kolonie, 1 mal 2 Kolonien.

b.) Ergebnisse der Schüttversuche sind den Abb. 1 und 2 zu entnehmen. Es sind aufgeführt Kolonienzahl pro Endoplatte bei Schüttversuchen und Kontrollen, Meßwerte in der Außenzugluft, siehe Abb. 1, in der Innenzugluft, siehe Abb. 2.

Die Ergebnisse zeigen auf den beim Schütten der Coliaufschwemmung exponierten Endoplaten für alle 3 Wagenpositionen sowohl

in der Außen- als auch in der Innenzugluft eine um 1 - 2 Zehnerpotenzen größere Kolonienzahl der Schüttversuche als der Kontrollen, obwohl die Kontrollen dreimal länger exponiert wurden, Diese Unterschiede sind statistisch signifikant.

In Abbildung 3 und 4 sind die Mittelwerte und die Standardfehler der Mittelwerte dargestellt.

Bei der Überprüfung der Wagenposition mittels Friedman-Test (Tab.3) läßt sich anhand des Versuchsumfanges kein Einfluß der Wagenposition auf die Kolonienzahl nachweisen.

Mittels Kruskal und Wallis-Test läßt sich kein Unterschied zwischen den einzelnen Versuchen betreffend die Kolonienzahl nachweisen.

(Tab.4).

C Diskussion

Zunächst sei darauf hingewiesen, daß es bei den Untersuchungen darum geht, qualitativ nachzuweisen, daß durch den Toilettenschacht von Schnellzügen entleerte Fäkalienaufschwemmungen als Spray die Außenhaut der nachfolgenden Wagen benetzen und über offene Wagenfenster ins Zuginnere gelangen können. Die zusätzlichen Versuche, Langzeitexposition zu Endoplaten bei Tempo 100 - 120 km/h, einmal am offenen Kraftfahrzeugfenster, zum andern am Schnellzug ganz vorne zeigen, daß coliforme Bakterien mit der Petrischale als Impaktor so gut wie gar nicht nachgewiesen werden. Auf die physikalischen Voraussetzungen soll nicht näher eingegangen werden, da die Tröpfchengröße des aufzufangenden Sprays unbestimmt ist. Nach MAY (23) muß für eine Partikel auffangrate auf dem Impaktor von 50% die Tröpfchengröße 0,05 mm sein bei einer Ge-

schwindigkeit von 120 km/h. Ist die Tröpfchengeschwindigkeit um Faktor 4 kleiner (30 km/h) sinkt die Auffangrate schon auf 20%, ist sie um Faktor 8 kleiner (15 km/h), ist die Auffangrate kleiner als 10%. Hiermit soll nur erläutert werden, daß quantitatives Auffangen von Tröpfchen bei geringer Geschwindigkeit der Zugluft, wie sie im Wageninneren auftritt, systematisch zu niedrige Werte ergeben muß. Hieraus folgt, daß die im Wageninneren in der Zugluft der offenen Gangfenster ermittelten Kolonienzahlen wegen der geringeren Strömungsgeschwindigkeit der Zugluft mindestens mit Faktor 5 multipliziert werden müßten, um mit den Werten in der Ausenzugluft verglichen werden zu können. Diesem Schluß liegt eine gemutmaßte Tröpfchengröße des Spray zwischen 0,04 und 0,1 mm zugrunde. Die Kontrollen der Schüttversuche erbringen schon eine deutliche Häufung von Kolonien coliformer Bakterien (Abb. 1 und 2). Diese Luftkeime stammen vermutlich von auch in Betriebsruhe tropfenden Toiletteeinrichtungen und von Fäkalresten oder Teilen, der vorher im Versuch geschütteten Bakterienaufschwemmung, die sich mit Latenz vom Bahnwagenunterbau lösen. Da nach GÖRLITZ (12) von der Strecke Staub aufgewirbelt wird, könnte es sich auch um Keime vom Bahnkörper handeln. Wie in der Einleitung abgehandelt, ist auf dem Bahnkörper kaum mit infektiösen Enterobakterien zu rechnen.

Die Kolonienzahlen coliformer Bakterien, die beim Schütten der Coliaufschwemmung an allen drei Wagenpositionen gefunden wurden, waren sowohl in der Zugluft außerhalb als auch innerhalb des Wagenfensters um Faktor 10 - 100 größer als bei den Kontrollen. Im Mittel betrug sie in der Ausenzugluft 4000, in der Innen-

zugluft 150 pro Endoplatte (siehe Abb. 1 - 4). Bemerkenswert war, daß im Abstand von 1, 2 und 5 Schnellzugwagen keine signifikant unterschiedlichen Kolonienzahlen nachgewiesen wurden. Es kann demnach angenommen werden, daß ein gleichmäßiger Spray den fahrenden Zug umgibt. Nach LIDWELL und NOBLE (19) handelt es sich im Mittel bei der Luftkeimzahlbestimmung um 4 Bakterien, die eine Kolonie bilden. Die tatsächlichen Keimzahlen lägen danach noch höher.

Die ermittelten Kolonienzahlen in der Außenzugluft sind Richtwerte für das Ausmaß der Verunreinigung der Außenhaut des Zuges. Hierbei sind mit den Türgriffen Teile betroffen, mit denen der Reisende in direkten Kontakt gerät. Zudem gelang der Nachweis, daß der Fäkalien spray über offene Reisewagenfenster mit der Zugluft in das Innere der Wagen gelangt. Bei sommerlichem Wetter wird auch bei hoher Reisegeschwindigkeit mit teilweise geöffneten Wagenfenstern gefahren. Vornehmlich bleiben nach eigener Beobachtung und nach Angaben des Personals des Speisewagens die Fenster der kleinen küchenähnlichen Einrichtung, die auch als Anrichte dient, wegen der lästigen Koch- und Bratendünste teilweise offen. Eine ästhetisch-hygienische Beeinträchtigung der Mitreisenden und des Zugpersonals ist somit gegeben.

Ein weiterer möglicher Infektionsweg für die über den Verdauungstrakt ausgeschiedenen Erreger ist in einer besonderen Form einer Tröpfcheninfektion gegeben. Bei der klassischen Tröpfcheninfektion werden die Keime über den Respirationstrakt versprayt und in der Regel in wenigen Sekunden oder Bruchteilen einer Sekunde nach Verlassen des Milieus des Ausscheiders über Schleimhäute wieder aufgenommen. Bei der hier vorliegenden Infektionsart wird die

Keimaufschwemmung versprayt und gelangt im Abstand von 1 ~ 5 Schnellzugwagen entsprechend 25 bis 125 m als Keimaerosol ins Zuginnere. Bei einer Reisegeschwindigkeit von 120 km/h betrüge die Übertragungszeit ca. 1/10 sec. bis wenige Sekunden. Diese Zeitspanne entspricht etwa der Übertragungszeit bei der klassischen Tröpfcheninfektion.

Neben der ästhetisch-hygienischen Beeinträchtigung des Reisenden ist somit die Übertragung von Erkrankungen möglich, deren Erreger vorwiegend über den Verdauungstrakt ausgeschieden werden.

Das sind folgende Bakterien und Erkrankungen

Dyspepsie Stämme von

Escherichia coli	-	Coli - Dyspepsie
Salmonellen	-	Typhus abdominalis
		Paratyphus A, B und C
		Salmonella-Enteritidis u.a.
Shigellen	-	Bakterielle Ruhr
Vibrio comma	-	Cholera
Mycobacterium	-	Tuberkulose
tuberculosae		

Nach CARLSON (4) handelt es sich bei den im Abwasser nachweisbaren Viren im wesentlichen um die über die Verdauungsorgane des Menschen ausgeschiedenen Spezies. Darauf und auf die Untersuchungen von BERG (2), CLARKE et al. (5), LAMB et al. (22), MELNICK et al. (24), PITTLER et al. (25), WASIELEWSKI et al. (29), WEBER-SCHUTT (30), WIGAND et al. (31), und WITT (32) gestützt, hat er eine Liste folgender Viren und Erkrankungen aufgestellt:

I. Picorna-Viren

Enteroviren

Poliomyelitis-Viren	-	Aparalytische und paralytische
Typ I - III	-	Poliomyelitis und -encephalitis
Coxsackie-Viren	-	Abakterielle Meningitis, Poliomyeli-
Gruppe A	-	tisähnliche Krankheiten, Herpangina,
(23 Typen)		Krankheiten des Respirationstraktes,
		Uncharakteristische fieberhafte All-
		gemeinerkrankungen
Gruppe B	-	Abakterielle Meningitis, Epidemische
(6 Typen)		Myalgie (Bornholmer Krankheit),
		Krankheiten des Respirationstraktes,
		Uncharakteristische fieberhafte All-
		gemeinerkrankungen
ECHO - Viren	-	Abakterielle Meningitis, Encephalomye-
		litis und poliomyelitisähnliche Krank-
Typ 1-9 und		heiten, Exanthemische Krankheiten,
11, 32 (Typ 10		Diarrhoe, insbesondere Sommerdiarrhoe
gehört zu den		der Kinder, Infekte des Respirations-
Reo-Viren)		traktes
Reo - Viren	-	Milde Infekte des Respirationstrak-
Typ I-III		tes, Milde Gastroenteritis,
II. Adenoviren	-	Fieberhafte Pharyngokonjunktivitis,
		Exanthematische Krankheiten mit ZNS-
		Beteiligung

III. Hepatitis-Viren - Infektiöse Gelbsucht.

Genannt seien auch die pathogenen Protozoen wie Lamblien- und Entamoebencysten und die Eier mancher Makroparasiten wie *Ascaris lumbricoides*.

Sicher ist es nicht zulässig, diese theoretischen Übertragungsmöglichkeiten mit der aktuellen Gefährdung gleichzusetzen. Neben der Immunitätslage des möglichen Empfängers spielen die infektiöse Dosis, die Eintrittspforte und die Überlebenschancen der Keime eine wichtige Rolle. Bei Askarideneiern reichen zwar einzelne, enteral aufgenommen, um eine Askaridiasis auszulösen. Allerdings ist es schwer vorstellbar, wie die Eier die notwendigen Wochen zur Reifung in der Außenwelt im oder am Reisezug überstehen sollen. Für die bakteriellen Erkrankungen sind die minimalen Infektionsdosen im allgemeinen beträchtlich. Obwohl die durchgeführten Versuche keine quantitativ verwertbaren Resultate liefern, soll die Möglichkeit einer Infektion am Beispiel der Salmonellen diskutiert werden. Salmonellen sind nach DOLD und KETTERER (10,11), HEICKEN (13) und LODENKÄMPER (20) durchaus so widerstandsfähig gegen Austrocknung, daß sie nach Benetzen der äußeren Türgriffe der Reisewagen während der Fahrt bis zum Benutzen der Türgriffe durch Reisende auf dem Bahnhof überleben. Zum Auslösen einer Erkrankung ist nach SICKENGA (28), unterschiedlich für die einzelnen Salmonellentypen, die enterale Aufnahme von ungefähr 100 000 bis 100 Mill. Keimen beim Nichtgeimpften notwendig. Trotz fehlender sicherer quantitativer Aussagen bei den Schüttversuchen kann festgestellt werden, daß diese infektiösen Minimaldosen an den Türgriffen bei weitem nicht erreicht werden, zumal ein Teil der Keime beim Abtrocknen vom

Fahrtwind wieder abgeweht wird. Der am Türgriff verbleibende infektiöse Rest wird selbst im ungünstigsten Fall nur zu einem Bruchteil enteral aufgenommen. Im Inneren des Reisewagens ist es noch unwahrscheinlicher, die infektiöse Minimaldosis direkt aufzunehmen. Eine aktuelle Gefährdung kann dann entstehen, wenn das Salmonella-Aerosol über das offene Fenster oder die Hände des Speisewagenpersonals nach Berühren eines benetzten Türgriffs die Nahrungsmittel in der Speisewagenanrichte infizieren. In diesem Fall können die Salmonellen durch Wachstum die notwendige Infektionsdosis leicht erreichen.

Für die anderen in Frage kommenden Erreger, insbesondere für die Viren, können nur wenige verbindliche Erläuterungen zur aktuellen Gefährdung gemacht werden. Die über die Verdauungsorgane ausgeschiedenen Viren, die wie oben beschrieben im Abwasser nachweisbar sind, überleben zweifellos die Zeit der Übertragung im Aerosol und bleiben infektiös. Die minimalen Infektionsdosen bei Viren sind nach HEARD (1), und PLOTKIN et al. (26) wenig bestimmt. Das Ausmaß der Infektionsgefahr kann nicht festgelegt werden. Bemerkenswert ist, daß WITTGENS (33) bei der Beschreibung der beruflichen Gefährdung des Zugpersonals eine Häufung der möglichen Infekte nicht gefunden hat.

Der Sommer- Herbstgipfel vieler dieser Erkrankungen ist mit der besonderen hygienischen Situation dieser Jahreszeit ausreichend erklärt. Eben zu dieser Jahreszeit bleiben im Bahnreiseverkehr die Wagenfenster teilweise geöffnet, so daß der aufgezeigte mögliche Infektionsweg zu dieser Jahreszeit besonders gefährdend sein könnte, nicht zuletzt wegen des zusätzlichen Verbreitungsfaktors durch das Überwinden größerer Distanzen im Reiseverkehr.

Das Überwinden großer Entfernungen trägt Erkrankungen in Gegenden, in denen die Immunitätslage der Bevölkerung evtl. ungünstiger ist, Hält man an *Escherichia coli* als Hygiene-Indikator fest, so sei darauf hingewiesen, daß in der Zugluft im Inneren der Reisewagen Kolonienzahlen bei den Schüttversuchen ermittelt wurden, die über den Zahlen liegen, die von HILLER (15) mit aufgestellten Petrischalen in Toiletten ermittelt wurden. Diese Petrischalen wurden statt 10 Sekunden in den obigen Versuchen viele Stunden exponiert. In Toiletten entsteht nach Untersuchungen von DARLOW et al. (9) beim Spülen trotz Schließen des Deckels ein bakterienhaltiges Aerosol, was das Auftreten von *Escherichia coli* erklärt.

Von seiten der Deutschen Bundesbahn sind Bestrebungen im Gange, geschlossene Toilettensysteme einzuführen, wie im Flugzeug oder etwa bei der Tokaido-Bahn in Japan, oder die Fäkalien chemisch oder elektrothermisch unschädlich zu machen. Sterilisation des Abwassers durch UV Bestrahlung ist nach Versuchen von LECLERC et al. (18) nicht möglich. Bei den geplanten Maßnahmen wird an das zunehmende Durchfahren von besiedelten- und Trinkwasserschutzgebieten, aber auch an das Streckenpersonal gedacht. Ein zusätzlicher Impuls könnte die aufgezeigte Beeinträchtigung des Reisenden und des Zugpersonals sein.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wird davon ausgegangen, daß Fäkalien in Toilettenschüsseln zum Teil eine Keimaufschwemmung von über den Verdauungstrakt ausgeschiedenen Erregern bilden. In Versuchen wird diese durch eine Coliaufschwemmung simuliert und durch den Toilettenschacht eines fahrenden Schnellzuges entleert. Es entsteht ein Coliaerosol,

von dem Teile mit der Petrischale als Impaktor außerhalb und innerhalb der offenen Wagenfenster der folgenden Wagen nachgewiesen werden. Die ästhetisch-hygienische Beeinträchtigung und die Infektionsmöglichkeit werden diskutiert.

Literatur

- 1.) BEARD, J.W.: Host-virus interaction in the initiation of infection, in:
Transmission of viruses by the water route. ed. b. G.BERG.
New York, London, Sidney, 1965, 167-192.
- 2.) BERG, G.: Die Virusübertragung auf dem Wasserweg. Arch. Hyg. 149,
310-335 (1965).
- 3.) BRINGMANN, G. und G.TROLLENIER: Reichweite der Coliübertragung bei
der landwirtschaftlichen Abwasserverregnung in Abhängigkeit
von der Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und UV Strahlung.
Ges.-Ing. 81, 268-274 (1960).
- 4.) CARLSON, S: Vorkommen von Viren in Abwasser und ihre Verminderung bei
verschiedenen Abwasserreinigungsprozessen. Bundesgesund-
heitsbl. 15, 233-238 (1967).
- 5.) CLARKE, N.A., R.E.STEVENSON and P.W.KABLER: The inactivation of purified
type 3 adenovirus in water by chlorine. Amer. J. Hyg. 64,
314-319 (1956).
- 6.) COX, C.S.: The survival of escherichia coli sprayed into air and in-
to nitrogen from distilled water and from solutions of
protecting agents, as a function of relative humidity.
J. gen. Microbiol. 43, 383-399 (1966).
- 7.) COX, C.S.: The aerosol survival of escherichia coli JEPP sprayed from
protecting agents into nitrogen atmospheres under changing
relative humidity conditions. J. gen. Microbiol. 49, 109-114 (1967).
- 8.) COX, C.S.: The aerosol survival of escherichia coli B in nitrogen,
argon and helium atmospheres and the influence of relative
humidity. J. gen. Microbiol. 50, 139-147 (1968).
- 9.) DARLOW, H.M. and W.R.BALE: Infective hazards of water-closets.
Lancet 1959, 1 1196-1200.

- 10.) DOLD, H und M. KETTERER: Vergleichende Untersuchungen über die Lebensdauer (Nachweisbarkeit) der Bakterien der T.P.E.-Gruppe (B. typhi, B. paratyphi B. Schottmüller, B. enteritidis Gärtner und Breslau) und der Bakterien der Ruhrgruppe in flüssigem und an Filtrierpapier angetrocknetem Stuhlmaterial. Z. Hyg. Infekt.-Kr. 124, 444-456 (1944).
- 11.) DOLD, H. und M. KETTERER: Weitere vergleichende Untersuchungen über die Nachweisbarkeit von Bakterien der Ruhrgruppe und der T.P.E.-Gruppe in flüssigem und an Filtrierpapier angetrocknetem Stuhlmaterial. Z. Hyg. Infekt.-Kr. 127, 326-335 (1948).
- 12.) GÖRLITZ, F.: Über die lufthygienische Bedeutung der Umstellung der Eisenbahn-Triebfahrzeuge auf Diesel- und Elektroantrieb. Städtehygiene 14, 43-47 (1963).
- 13.) HEICKEN, K.: Die Prüfung und Wertbestimmung chemischer Desinfektionsmittel für die Zimmerdesinfektion. Z. Hyg. Infekt.-Kr. 129, 538-569 (1949).
- 14.) HELMKE, R.: Über die Wirkung der Protrahierung der Dosis bei der Inaktivierungsbestrahlung von Bact. coli. B. Zbl. Bakt., I. Abt. Orig. 163, 42-45 (1955).
- 15.) HILLER, C.: Über Verbreitung von Escherichia coli in der menschlichen Umgebung. Zbl. Bakt., I. Abt. Orig. 166, 335-353 (1956).
- 16.) KRÖGER, E.: S. bareilly-Nachweis in Rieselfeld-Abwasser-, -Schlamm- und -Gemüseproben nach einer S. bareilly-Epidemie. Z. Hyg. Infekt.-Kr. 139, 202-207 (1954).
- 17.) LAMB, G. A., T. D. Y. CHIN and L. E. SCARCE: Isolations of enteric viruses from sewage and river water in a metropolitan area. Amer. J. Hyg. (Lond.) 80, 320-327 (1964).
- 18.) LECLERC, H. et C. SAVAGE: Sur la stérilisation des eaux par les rayons ultra-violetts. Ann. Inst. Pasteur Lille 15, 139-146 (1965).

- 19.) LIDWELL, O.M., W.C. NOBLE and G.W. DOLPHIN: The use of radiation to estimate the numbers of microorganisms in air-borne particles. *J. Hyg. (Lond.)* 57, 299-308 (1959).
- 20.) LODENKÄMPER, H.: Ergänzende Untersuchungen zur Frage nach der Lebensfähigkeit der Ruhrbazillen bei Verwendung von Brot als Keimträger. *Arch. Hyg.* 30, 188-192 (1943).
- 21.) LUND, E.: The oxidation potential concept of inactivation of polio-virus in sewage. *Amer. J. Epidemiol.* 81, 141-145 (1965).
- 22.) MASON, J.O. and W.R. MCLEAN: Infectious hepatitis traced to the consumption of raw oysters. *Amer. J. Hyg.* 75, 90-111 (1962).
- 23.) MAY, K.R.: Physical aspects of sampling airborne microbes, in: Airborne microbes, 17th symposium of the society for general microbiology held at the imperial college, London april 1967. Cambridge 1967, 60-80.
- 24.) MELNICK, J.L., J. EMMONS, J.H. COFFEY and H. SCHOOF: Seasonal distribution of coxsackie viruses in urban sewage and flies. *Amer. J. Hyg.* 59, 164-184 (1954).
- 25.) PITTLER, H., W. HÖPKEN und K.-W. KNOCKE: Enteroviren und Adenoviren im Abwasser Methode des Nachweises und epidemiologische Studie 1963-1965. *Zbl. Bakt., I. Abt. Orig.* 204, 33-46 (1967).
- 26.) PLOTKIN, S.A. and M. KATZ: Minimal infective doses of viruses for man by the oral route, in: Transmission of viruses by the water route. ed. b. G. BERG. New York, London, Sidney, 1965, 151-166.
- 27.) POPP, L.: Über das Problem der Abwasserunterbringung. *Städtehygiene* 7, 217-224 (1956).
- 28.) SICKENGA, F.N.: Transmission of salmonellae and pathogenesis of salmonellosis in man, in: The world problem of salmonellosis. ed. b. E. VAN OYE (= Monographiae Biologicae 13). The Hague, 1964, 205-232.

- 29.) WASIELEWSKI, E.v., S.CARLSON, K.H.HUSMANN und G.CHRISTOFORIDIS:
Modellversuche zur Überlebensdauer pathogener Viren im
Rheinwasser. Arch. Hyg. 145, 184-188 (1961).
- 30.) WEBER-SCHUTT, G.: Experimentelle Studien mit Bakteriophagen in
Abwasserkläranlagen unter besonderer Berücksichtigung hygieni-
scher Belange. Zbl. Bakt., I. Abt. Orig. 200, 212-234 (1965).
- 31.) WIGAND, R., F.LANG, W.ADAM und H.BAUER: Die Isolierung von Polio-
virus in verschiedenen Gewebekulturen. Z. Hyg. Infekt.-Kr.
150, 136-141 (1964).
- 32.) WITT, G.: Virologische Untersuchungen von Badewässern im Anschluss an
eine Poliomyelitis-Schluckimpfung. Arch. Hyg. 148, 188 -193
(1964).
- 33.) WITTGENS, H.: Eisenbahndienst, in: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin.
Bd. 5, hrsg. v. H.WITTGENS, Berlin, München, Wien, 1961 412-421

Lebenslauf

Am 10. Januar 1939 wurde ich, Peter von Seck, als Sohn des Bauingenieurs Hans-Jürgen von Seck und seiner Ehefrau Margot von Seck, geb. von Bosse, in Sorau/Lausitz geboren.

Nach 4 Volksschuljahren in Siegen/Westfalen besuchte ich das dortige Städt. Gymnasium bis 1954. Nach der Umsiedlung meiner Eltern nach Wiesbaden schloss ich in der Gutenbergschule dieser Stadt meine Schulausbildung im Februar 1959 mit dem Abitur ab.

Mit Ausnahme des 3. vorklinischen Semesters, das ich an der Frankfurter Universität verbrachte, studierte ich an der Johannes - Gutenberg - Universität in Mainz, wo ich am 29. Januar 1965 die ärztliche Prüfung ablegte.

Die Medizinalassistentenzeit begann ich mit 6 Monaten Chirurgie an den Städtischen Kliniken in Wiesbaden und beendete sie an verschiedenen Kliniken in Hamburg.

Am 31. März 1967 erhielt ich meine Bestallung als Arzt. Zunächst schlossen sich 9 Monate Tätigkeit in der Röntgenabteilung des Allgemeinen Krankenhauses Hamburg-Eilbek an. Seit Februar 1968 arbeite ich in der I. Med. Abteilung der Städtischen Kliniken in Wiesbaden.

Im Sommer 1971 begann ich mit den Untersuchungen zur vorliegenden Arbeit. Nach Erlangung meiner Facharztanerkennung als Internist beabsichtige ich in Wiesbaden Ende 1972 eine Praxis zu eröffnen.

Von 1964 bis 1971 war ich mit der Krankengymnastin Renate von Seck, geb. Eyring, verheiratet und habe mit ihr ein Kind.

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. J. B o r n e f f für
seine Anregungen und sein lebhaftes Interesse am Fortgang
der Arbeit.

Herrn Professor Dr. J. B e r g e r danke ich für die
Unterstützung bei der Durchführung der statistischen Verfahren.

